[1]真胃灌注缺失精氨酸、苏氨酸或组氨酸的混合氨基酸对泌乳山羊乳腺氨基酸代谢的影响

胡志勇[1] 孙得倖[1] 李继伟 闫振贵 林雪彦* 王中华*

（山东农业大学动物科技学院，泰安 271018）

摘 要：本试验旨在研究真胃灌注缺失精氨酸（Arg）、苏氨酸（Thr）或组氨酸（His）的混合氨基酸对泌乳山羊乳腺氨基酸代谢的影响。选择 4 只泌乳中期萨能奶山羊，安装真胃插管（用于灌注氨基酸）、颈动脉和乳静脉血管插管（用于采集血样），在外阴动脉安装血液流量计探头（记录乳腺血流量）。试验羊限饲基础饲粮，满足维持能量和蛋白质需要。真胃灌注葡萄糖和按瘤胃微生物蛋白氨基酸构成配制的混合氨基酸。采用 4×4 拉丁方试验设计，对照组灌注全混合氨基酸，试验组分别灌注缺失 Arg、Thr、His 的混合氨基酸；试验共进行 4 期，每期 7 d，前 4 天为灌注期，后 3 天为采样期。结果表明：1）单一氨基酸缺失灌注对产奶量和乳蛋白产量均无显著影响（P>0.05）。2）Arg 和 Thr 缺失显著提高了乳腺血流量（P≤0.05），降低了该氨基酸的动脉浓度、静脉浓度，乳腺清除率分别上升 25.9%和 199%；单一氨基酸缺失灌注对该乳腺吸收量和乳腺吸收产出比无显著影响（P>0.05）。3）Arg、Thr 和 His 缺失，泌乳转化效率分别提高 25.4%（4.02 vs. 5.04，P≤0.05）、34.5%（9.09 vs. 12.23，P≤0.05）和 14.6%（10.51 vs. 12.04，0.05<P≤0.10）。结果提示，泌乳山羊通过提高乳腺血流量和乳腺清除率增加了饲粮对乳腺缺失氨基酸的供给，从而提高缺失了氨基酸的泌乳转化效率。

关键词：氨基酸；乳腺血流量；泌乳性能；泌乳转化效率

中图分类号：S826

影响必需氨基酸（EAA）泌乳转化效率的因素包括产奶量、饲粮氨基酸供应、消化道

收稿日期：2016-01-07

基金项目：国家现代农业（奶业）产业技术体系（CARS-37）；山东省牛产业技术体系（SDAIT-12-011-06）

作者简介：胡志勇(1980-)，男，讲师，主要从事反刍动物营养研究。E-mail: hzy20040111@126.com

*通信作者：林雪彦，教授，博士生导师，E-mail: linxueyan@sdau.edu.cn；王中华，教授，博士生导师，E-mail: zhwang@sdau.edu.cn

和肝脏的代谢特性。产奶量能够影响氨基酸在维持和泌乳之间的分配，饲粮氨基酸供应通过影响肝后 EAA 供给来影响 EAA 泌乳转化效率。

奶牛氨基酸的小肠吸收量和门静脉流量的测定结果表明，氨基酸在门静脉回流组织（PDV）的吸收量差异很大，组氨酸（His）的损失量很小，而亮氨酸（Leu）、苏氨酸（Thr）和一些非必需氨基酸（NEAA）的损失量很大[1]。Bequette 等[2]在绵羊的 PDV 中发现了 Leu 和蛋氨酸（Met）氧化。Thr 的门静脉回收率也很低，可能与胰腺氧化有关。因此，PDV EAA 的代谢对进入血液循环的氨基酸数量和构成均有直接影响。

肝脏对氨基酸的移除差异同样很大，并因此影响肝后 EAA 供给。Cant 等[3]依照肝脏氨基酸移除特征，将 EAA 分为 2 组，第 1 组 EAA 的肝脏清除量很低，包括支链氨基酸（BCAA）和赖氨酸（Lys），第 2 组 EAA 包括 His、苯丙氨酸（Phe）和 Met，通过肝脏时被大量移除，其降解酶也主要存在于肝脏中。His、Phe 和 Met 的净移除率分别为门静脉吸收量的 0.36、0.38 和 0.49 倍。考虑到肝脏血流量很高，进入肝脏的 EAA 主要来源于动脉血液（供给 PDV 的动脉加肝动脉血），肝脏净吸收的 EAA 主要来源于外周体组织再循环，对外周组织未利用的氨基酸进行分解。因此消化道和肝脏的氨基酸代谢特性影响 EAA 泌乳转化效率。

Mabjeesh 等[4]研究发现，EAA 供应量降低时，乳腺能够调节血流速度和氨基酸的转运能力满足泌乳需要，因此在一定范围内，EAA 供应量的降低可以引起缺失氨基酸泌乳转化效率升高。本试验通过单一 EAA 缺失灌注，研究泌乳转化效率升高程度，反映氨基酸消化道和肝脏的代谢特性，并最终为小肠可消化氨基酸合理构成提供了参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验动物和饲粮

选用 4 只体况良好经产泌乳中期萨能奶山羊[产奶量（1.5±0.25） kg/d，体重(50±5) kg]，试验前 1 个月做真胃插管（用于灌注氨基酸）手术，剥离颈动脉至皮下固定，安装血管插管（用于采集血样），乳静脉直接安装血管插管，在左侧的外阴动脉上安装超声波血流量检测探头（MC6PSS-LS-WCS10-GC,美国 Transonic Systems 公司）（记录乳腺血流量）。试验羊单独在代谢笼内饲养，通过自动喂料器每间隔 2 h 饲喂 1 次全价颗粒料，保证试验羊自由采食量，饲喂量：1 号羊 70.5g/次，2 号羊 73.9g/次，3 号羊 66.1g/次，4 号羊 68.1g/次。

试验羊基础饲粮参照英国 AFRC（1993）[5]奶山羊饲养标准设计，制成颗粒饲料。试验

期间，羊只限饲颗粒状基础饲粮，满足维持能量和蛋白质需要。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet （DM basis）　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	13.76
豆粕 Soybean meal	5.54
麦麸 Wheat bran	5.10
苜蓿 Alfalfa	22.80
红薯秧 Sweet potato vine	47.60
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	2.55
碳酸钙 $CaCO_3$	0.65
食盐 NaCl	1.00
预混料 Premix[1)]	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
净能 NE/（MJ/kg DM）	4.90
代谢蛋白质 MP	4.94
钙 Ca	0.87
磷 P	0.42
酸性洗涤纤维 ADF	26.78
中性洗涤纤维 NDF	45.98

[1)]每千克预混料含有 One kg of premix contained the following：VA 900 000 IU，VD_3 300 000 IU，VE 2 500 mg，烟酸 nicotinic acid 1 500 mg，Fe (as ferrous sulfate) 1 500 mg，Mn (as manganese sulfate) 2 000 mg,Cu (as copper sulfate) 2 000 mg，Zn (as zinc sulfate) 10 000 mg，Se (as sodium selenite) 100 mg，I (as potassium iodide) 150 mg。

[2)]净能和代谢蛋白质为计算值，其余为实测值。NE and MP were calculated values, while the others were measured values.

1.2　试验处理

采用 4×4 拉丁方试验设计，对照组（C）灌注全混合氨基酸，3 个试验组分别灌注缺失 Arg（-Arg）、Thr（-Thr）和 His（-His）的混合氨基酸。试验共进行 4 期，每个试验期 7 d，前 4 天为灌注期，后 3 天为采样期。

依据每期试验前 3 天记录的每只试验羊的产奶量，按照 AFRC（1993）[5]计算泌乳需要

的代谢能（ME）和代谢蛋白质（MP）。根据泌乳需要计算氨基酸灌注量（表 2）。真胃灌注葡萄糖和按瘤胃微生物蛋白氨基酸构成[6]配制的混合氨基酸，提供泌乳所需能量和蛋白质。全混合氨基酸组成见表 3。

表 2　氨基酸灌注量

Table 2　The perfusion amount of AA　　g/d

羊只	组别 Groups			
	C	-Arg	-Thr	-His
1	49.04	40.52	32.67	43.82
2	66.49	70.47	56.14	70.11
3	29.56	32.95	40.55	35.22
4	38.06	38.74	28.69	32.66

表 3　全混合氨基酸组成（占总氨基酸百分比）

Table 3　Composition of total mixed amino acids （percentage in TAA）　%

必需氨基酸 EAA	含量 Content	非必需氨基酸 NEAA	含量 Content
赖氨酸 Lys	7.53	色氨酸 Trp	1.32
蛋氨酸 Met	4.81	丙氨酸 Ala	7.42
亮氨酸 Leu	6.38	甘氨酸 Gly	5.26
异亮氨酸 Ile	5.97	谷氨酸 Glu	11.81
缬氨酸 Val	6.62	天冬氨酸 Asp	11.50
苏氨酸 Thr	5.77	丝氨酸 Ser	4.02
苯丙氨酸 Phe	5.07	脯氨酸 Pro	3.78
组氨酸 His	1.49	半胱氨酸 Cys	1.59
精氨酸 Arg	4.04	酪氨酸 Tyr	5.62

氨基酸灌注液和葡萄糖溶液均用生理盐水配制，用盐酸溶液和氢氧化钠溶液调整 pH 为 7.4 左右，将当天配制的灌注混合溶液倒入放于恒温磁力搅拌器上的烧杯中混匀，之后进行 24 h 连续真胃灌注。采样期在羊只颈动脉和乳静脉安装血管留置针以备采血，采集奶样，并测定血流量。

1.3　样品采集和测定

每个采样期内，08:00 和 18：00 为 2 个奶样采集时间点，奶样加双氧水数滴，-20 ℃冻存。奶样测定前，将奶样置于 37 ℃水浴融化，使用红外乳成份分析仪（78110，美国 Foss

公司）测定乳糖、乳脂和乳蛋白产量，计算比率。利用液质联用外标法测定乳蛋白水解氨基酸浓度(液质联用仪，UPLC-MSMS，美国 AB sciex 公司)。

采血前 1 天用 1:500 肝素钠生理盐水浸泡 20 mL 注射器和连接留置针的静脉延长线。试验采用连续慢速采血方法，将留置针和注射器组成的自制采血装置连接到注射泵（W0109-1，河北保定兰格恒流泵有限公司），连续抽取 10 mL/h，5 mL 放于加有肝素钠的软管中，在 3 000×*g* 和 4 ℃条件下离心 15 min 分离血浆，用于进行血成分分析；剩下的 5 mL 置于含有肝素钠（750 IU）的真空采血管中，将全血血样和血浆样均置于-20 ℃冷冻保存。血浆尿素氮、葡萄糖和总蛋白浓度采用全自动生化分析仪（7020，日本日立公司）测定；血浆一氧化氮（NO）浓度采用硝酸还原酶法测定（试剂盒购自南京建成生物工程研究所）。全血中的氨基酸浓度利用液质联用外标法测定(液质联用仪，UPLC-MSMS，美国 AB sciex 公司)。

血流量数据采集：超声波血流量检测探头（MC6PSS-LS-WCS10-GC,美国 Transonic Systems 公司）全程测定外阴动脉血流量。

1.4 计算公式

乳腺氨基酸清除率（L/d）=[(CA-CMV)/CMV]×MBF。

乳腺组织对全血中氨基酸吸收量（μmol/h）=（CA-CMV）×MBF/24。

乳腺吸收产出比＝乳腺组织对全血中氨基酸吸收量(μmol/d)/乳氨基酸产量(μmol/d)。

氨基酸泌乳转化效率=乳氨基酸产量(μmol/d)/小肠中可吸收氨基酸的流量（μmol/d）。

式中：CA、CMV 分别为氨基酸在颈动脉和乳腺静脉全血中的浓度（μmol/L），MBF 为乳腺（阴外动脉）血流量（L/d），即单位时间内乳动脉中的血流量，用全期的平均值表示。

1.5 数据统计分析

试验数据处理采用 SAS 8.2 下的 Linear-Models-ANOVA 的程序按拉丁方设计进行方差统计分析，采用 Duncan 氏法进行平均值的多重比较，统计的模型为：

$$Y_{ijk}=\mu+\alpha_i+\beta_j+\gamma_k+e_{ijk}。$$

式中：μ 为随机变量，α_i 为分组影响变量，β_j 为时期影响变量，γ_k 为动物影响变量，e_{ijk} 为分组、时期及动物的交互作用。

统计结果给出由分组、时期及动物的 3 种 *P* 值，差异性显著依据处理 *P* 值判断，当 $P\leq 0.05$

时，表示差异显著；当 0.05<*P*≤0.10 时，有差异的趋势。

2 结 果

2.1 泌乳性能

由表 4 可见，缺失 Arg、Thr 和 His 的混合氨基酸灌注对产奶量均无显著影响（*P*>0.05），对乳蛋白率和乳蛋白产量没有显著差异（*P*>0.05）。与 C 组相比，-Arg 组乳脂率和乳脂产量显著上升（*P*≤0.05）;-Arg 组和-His 组乳糖率显著下降（*P*≤0.05）；-Arg 组脂蛋白比显著上升（1.10 vs. 0.89，*P*≤0.05），-Thr 组和-His 组，脂蛋白比有升高趋势（0.05<*P*≤0.10）。

表 4 缺失 Arg、Thr 和 His 的混合氨基酸灌注对泌乳山羊泌乳性能的影响

Table 4 Effects of infusion of mixed AA excluding Arg, Thr and His on lactation performance of lactating goats

项目 Items	组别 Groups				R-MSE	*P* 值 *P*-value		
	C	-Arg	-Thr	-His		分组 Grouping	时期 Period	动物 Animal
产奶量 Milk yield/(g/d)	875	935	808	900	88.21	0.31	0.13	0.02
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	2.34	2.35	2.34	2.29	0.14	0.91	0.32	<0.01
乳蛋白产量 Milk protein yield/(g/d)	20.1	21.4	18.1	20.6	2.07	0.24	0.33	0.11
乳脂率 Milk fat percentage/%	2.12[b]	2.56[a]	2.30[ab]	2.30[ab]	0.23	0.15	0.08	<0.01
乳脂产量 Milk fat yield/(g/d)	17.6[b]	23.60[a]	17.9[b]	20.6[ab]	2.30	0.03	0.04	0.11
乳糖率 Lactose percentage/%	4.27[a]	4.09[b]	4.10[ab]	4.08[b]	0.10	0.10	0.46	<0.01
乳糖产量 Lactose yield/(g/d)	37.0	37.8	32.8	36.8	3.91	0.35	0.11	0.20
脂蛋白比 Fat/protein	0.89[b]	1.10[a]	1.00[ab]	1.01[ab]	0.08	0.05	0.02	0.01

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*≤0.05），相同或无小写字母表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

Values in the same row with different small letter superscripts mean significant difference （*P*≤0.05）, while with the same or no small letter superscripts mean no significant difference （*P*>0.05）. The same as below.

2.2 血浆生化指标和乳腺血流量

由表 5 可见，缺失 Arg、Thr 和 His 的混合氨基酸灌注对血浆葡萄糖、总蛋白和 NO 浓度都没有显著影响（*P*>0.05）。与 C 组相比，-Arg 组总蛋白浓度有下降趋势（0.05<*P*≤0.10），-Thr 组有上升趋势（0.05<*P*≤0.10）；-Thr 组尿素氮浓度显著上升（*P*≤0.05），-His 组和-Arg 组血浆尿素氮的浓度上升的趋势（0.05<*P*≤0.10）；-Thr 组和 Arg 组乳腺血流量分别提高了 22.2%和 20.6%（*P*≤0.05）。

表 5 缺失 Arg、Thr 和 His 的混合氨基酸灌注对泌乳山羊血浆生化指标和乳腺血流量的影响

Table 5 Effects of infusion of mixed AA excluding Arg, Thr and His on plasma biochemical indices and MBF of lactating goats

项目 Items	组别 Groups C	-Arg	-Thr	-His	R-MSE	*P* 值 *P*-value 分组 Grouping	时期 Period	动物 Animal
尿素氮 Urea Nitrogen/(mmol/L)	5.92^{b}	6.42^{ab}	6.84^{a}	6.26^{ab}	0.50	0.17	0.91	<0.01
葡萄糖 Glucose/(mmol/L)	3.16	2.61	3.08	2.93	0.42	0.35	0.30	0.85
总蛋白 total protein/(g/L)	72.6^{ab}	70.5^{b}	74.8^{a}	72.7^{ab}	1.65	0.06	<0.01	0.03
一氧化氮 NO/(μmol/L)	142.97	88.28	147.66	113.28	35.11	0.16	0.33	0.06
乳腺血流量 MBF/(L/d)	188.8^{b}	230.8^{a}	227.7^{a}	182.6^{b}	8.96	<0.01	<0.01	<0.01

2.3 颈动脉血氨基酸浓度

由表 6 可见，与 C 组相比，-Arg 组颈动脉血 Arg 浓度显著下降（*P*≤0.05）；-Thr 组 Thr 浓度显著下降（*P*≤0.05），同时 His 浓度显著上升（*P*≤0.05）；-His 组 His 的浓度没有显著变化（*P*>0.05）。

表 6 缺失 Arg、Thr 和 His 的混合氨基酸灌注对泌乳山羊颈动脉血氨基酸浓度的影响

Table 6 Effects of infusion of mixed AA excluding Arg, Thr and His on blood AA concentrations in jugular arteries of lactating goats μmol/L

氨基酸 Amino acids	组别 Groups C	-Arg	-Thr	-His	R-MSE	*P* 值 *P*-value 分组 Grouping	时期 Period	动物 Animal
精氨酸 Arg	73.94^{a}	58.90^{b}	72.03^{a}	75.70^{a}	4.85	<0.01	0.02	0.07
苏氨酸 Thr	53.24^{a}	55.88^{a}	28.67^{b}	55.21^{a}	4.17	<0.01	0.06	0.06
组氨酸 His	27.54^{b}	27.14^{b}	36.19^{a}	24.49^{b}	3.82	0.02	0.12	0.16
赖氨酸 Lys	87.09	87.92	79.38	88.05	13.91	0.78	0.10	0.10
蛋氨酸 Met	37.10^{ab}	38.93^{a}	33.93^{b}	36.27^{ab}	1.94	0.05	0.18	<0.01
亮氨酸 Leu	64.2	66.1	64.2	63.5	6.27	0.94	0.01	<0.01
缬氨酸 Val	81.06	85.39	80.21	82.98	12.03	0.93	0.05	<0.01
苯丙氨酸 Phe	58.01	58.02	56.58	56.89	2.42	0.77	0.09	<0.01
异亮氨酸 Ile	50.4	50.3	49.6	51.7	5.11	0.94	0.04	<0.01
色氨酸 Trp	22.76	21.23	22.79	22.62	1.35	0.37	0.06	0.08
丙氨酸 Ala	120.5	118.7	102.9	109.0	11.03	0.18	0.08	0.08
天冬酰胺 Asn	21.0	21.8	19.3	20.8	3.02	0.70	0.33	0.06
天冬氨酸 Asp	21.0	22.8	22.2	24.3	2.14	0.27	0.04	0.06
半胱氨酸 Cys	1.59	1.53	1.43	1.56	0.13	0.43	<0.01	0.06
谷氨酰胺 Gln	110.2^{ab}	118.6^{a}	92.8^{b}	102.3^{ab}	13.68	0.15	0.06	0.43
谷氨酸 Glu	94.8	93.5	87.2	97.2	7.37	0.35	0.01	0.02
甘氨酸 Gly	523.5	535.1	464.8	506.6	68.48	0.53	0.19	<0.01

脯氨酸 Pro	81.92	87.55	79.12	81.42	8.96	0.62	0.14	0.02
丝氨酸 Ser	51.25^{ab}	61.08^{a}	42.15^{b}	49.27	9.61	0.14	0.48	0.01
酪氨酸 Tyr	36.64	36.00	35.06	35.66	2.06	0.75	0.02	<0.01
总必需氨基酸 TEAA	555.34	549.77	523.55	557.42	45.93	0.72	0.03	0.02
总非必需氨基酸 TNEAA	1 062.40	1 096.58	946.88	1 028.05	105.04	0.31	0.14	0.02
总氨基酸 TAA	1 617.74	1 646.35	1 470.43	1 585.47	139.78	0.38	0.07	0.09

2.4 乳静脉血氨基酸浓度

由表 7 可见，与 C 组相比，-Arg 组乳静脉血 Arg 浓度有下降趋势（$0.05<P\leq0.10$）；-Thr 组 Thr 的浓度显著下降（$P\leq0.05$），同时 His 的浓度显著上升（$P\leq0.05$）；-His 组 His 的浓度没有显著变化（$P>0.05$）。

表 7 缺失 Arg、Thr 和 His 的混合氨基酸灌注对泌乳山羊乳静脉血氨基酸浓度的影响

Table 7 Effects of infusion of mixed AA excluding Arg, Thr and His on blood AA concentrations in breast veins of lactating goats μmol/L

氨基酸 Amino acids	组别 Groups				R-MSE	*P* 值 *P*-value		
	C	-Arg	-Thr	-His		分组 Grouping	时期 Period	动物 Animal
精氨酸 Arg	38.23^{ab}	30.31^{b}	37.60^{ab}	41.46^{a}	6.10	0.17	0.24	0.06
苏氨酸 Thr	25.76^{a}	29.25^{a}	8.60^{b}	30.68^{a}	4.99	<0.01	0.72	0.02
组氨酸 His	20.44^{b}	21.69^{b}	33.80^{a}	18.21^{b}	4.48	0.01	0.12	0.13
赖氨酸 Lys	47.33	51.19	46.51	48.41	11.07	0.93	0.13	0.17
蛋氨酸 Met	23.23	25.81	18.92	21.66	3.84	0.18	0.32	0.02
亮氨酸 Leu	30.33	30.06	30.85	28.34	4.72	0.88	0.16	<0.01
缬氨酸 Val	43.11	42.23	42.05	42.43	9.20	1.00	0.19	0.02
苯丙氨酸 Phe	31.26	32.60	32.24	30.43	3.26	0.78	0.19	<0.01
异亮氨酸 Ile	14.51	14.01	15.28	13.27	2.76	0.77	0.13	<0.01
色氨酸 Trp	17.82	17.08	19.36	17.21	1.31	0.15	0.03	0.08
丙氨酸 Ala	75.83	78.58	69.82	66.12	9.34	0.31	0.05	0.05
天冬酰胺 Asn	16.75	17.49	15.11	16.86	4.69	0.90	0.76	0.49
天冬氨酸 Asp	14.02	14.00	12.86	14.46	2.94	0.88	0.11	0.67
半胱氨酸 Cys	2.96	2.40	2.12	2.44	0.85	0.59	0.02	0.25
谷氨酰胺 Gln	80.14	91.66	64.53	70.54	16.63	0.21	0.11	0.62
谷氨酸 Glu	78.95	81.38	76.68	76.53	7.73	0.79	<0.01	0.01
甘氨酸 Gly	496.56	510.00	454.65	441.41	71.90	0.52	0.13	0.01
脯氨酸 Pro	59.52	66.46	59.38	56.04	10.50	0.59	0.18	0.02
丝氨酸 Ser	65.65	77.00	64.31	54.69	12.78	0.21	0.90	<0.01
酪氨酸 Tyr	26.00	26.09	26.71	24.23	2.76	0.64	0.11	<0.01
总必需氨基酸 TEAA	292.0	294.2	285.2	292.1	44.51	0.99	0.17	0.04
总非必需氨基酸 TNEAA	916.4	965.1	846.2	823.2	123.85	0.42	0.18	0.04

总氨基酸 TAA	1 208.4	1 259.3	1 131.4	1 115.2	160.71	0.58	0.16	0.20

2.5 乳腺氨基酸清除率

由表 8 可见，与 C 组相比，-Arg 组 Arg 的乳腺清除率没有显著影响（*P*>0.05），但在数值上由178.34上升至224.56，提高了25.9%;-Thr组Thr的乳腺清除率显著上升（*P*≤0.05），由 232.4 上升到 695.4，提高了 199%，同时，His 的乳腺清除率显著下降（*P*≤0.05）；-His 组 His 乳腺清除率无显著变化（*P*>0.05）。

表 8 缺失 Arg、Thr 和 His 的混合氨基酸灌注对泌乳山羊乳腺氨基酸清除率的影响

Table 8 Effects of infusion of mixed AA excluding Arg, Thr and His on AA clear rates of mammary glands of lactating goats L/d

氨基酸 Amino acids	组别 Groups				R-MSE	*P* 值 *P*-value		
	C	-Arg	-Thr	-His		分组 Grouping	时期 Period	动物 Animal
精氨酸 Arg	178.34	224.56	215.39	193.18	50.64	0.59	0.51	0.01
苏氨酸 Thr	232.4[b]	216.6[b]	695.4[a]	169.0[b]	206.91	0.03	0.42	0.21
组氨酸 His	74.8[a]	62.37[a]	16.36[b]	73.74[a]	23.97	0.04	0.12	0.24
赖氨酸 Lys	172.09	167.50	163.15	161.26	53.85	0.99	0.33	0.84
蛋氨酸 Met	118.55	137.06	203.29	146.54	48.21	0.18	0.08	0.04
亮氨酸 Leu	220.79	301.42	245.67	246.42	53.26	0.28	0.29	0.03
缬氨酸 Val	183.63	257.29	202.51	196.19	61.54	0.41	0.36	0.17
苯丙氨酸 Phe	168.28	192.71	176.21	174.94	30.82	0.72	0.05	<0.01
异亮氨酸 Ile	534.58	701.97	525.56	652.59	117.57	0.19	0.06	<0.01
色氨酸 Trp	53.74[ab]	56.21[ab]	40.86[b]	60.94[a]	10.22	0.13	0.08	0.14
丙氨酸 Ala	115.01	121.44	115.12	125.87	28.89	0.94	0.10	0.23
天冬酰胺 Asn	52.64	60.94	66.47	51.11	41.58	0.94	0.92	0.26
天冬氨酸 Asp	117.86	149.76	177.07	139.69	70.02	0.70	0.05	0.79
半胱氨酸 Cys	-65.22	-77.31	-64.53	-48.16	19.38	0.30	0.05	0.44
谷氨酰胺 Gln	72.96	82.08	103.70	83.26	41.35	0.76	0.48	0.64
谷氨酸 Glu	39.02	38.32	36.03	60.16	16.92	0.25	0.04	0.11
甘氨酸 Gly	13.69	11.02	5.65	28.46	16.58	0.34	0.55	0.83
脯氨酸 Pro	79.97	76.79	85.00	85.67	29.47	0.97	0.24	0.34
丝氨酸 Ser	-33.37[a]	-36.52[a]	-79.93[b]	-17.62[a]	23.21	0.04	0.42	0.02
酪氨酸 Tyr	92.16	99.49	71.68	94.35	26.03	0.50	0.25	0.02
总必需氨基酸 TEAA	175.35	209.19	190.75	183.21	34.37	0.58	0.21	0.04
总非必需氨基酸 TNEAA	33.78	31.33	29.12	47.16	18.36	0.55	0.39	0.95
总氨基酸 TAA	66.76	70.62	70.40	79.88	22.06	0.85	0.36	0.89

2.6 乳腺氨基酸吸收量

由表 9 可见，单一氨基酸缺失灌注对缺失该氨基酸的乳腺吸收量无显著影响（P>0.05）。与 C 组相比，-Thr 组 His 的乳腺吸收量显著降低（P≤0.05）。

表 9　缺失 Arg、Thr 和 His 的混合氨基酸灌注对泌乳山羊乳腺氨基酸吸收量的影响

Table 9　Effects of infusion of mixed AA excluding Arg, Thr and His on AA absorbed amount of mammary glands of lactating goats　μmol/h

氨基酸 Amino acids	组别 Groups				R-MSE	*P* 值 *P*-value		
	C	-Arg	-Thr	-His		分组 Grouping	时期 Period	动物 Animal
精氨酸 Arg	279.23	272.03	330.21	271.56	48.27	0.34	0.79	<0.01
苏氨酸 Thr	214.91	254.81	194.35	183.82	45.17	0.23	0.56	0.07
组氨酸 His	55.78^{a}	52.34^{a}	21.86^{b}	48.54^{a}	13.29	0.04	0.21	0.63
赖氨酸 Lys	313.69	350.47	306.43	296.81	69.56	0.72	0.63	0.29
蛋氨酸 Met	109.02	127.48	142.68	115.79	21.32	0.23	0.09	0.03
亮氨酸 Leu	266.26	340.78	312.78	262.64	51.34	0.19	0.51	0.10
缬氨酸 Val	299.12	407.08	353.9	298.38	81.54	0.28	0.80	0.38
苯丙氨酸 Phe	210.28	245.31	230.30	204.89	22.50	0.14	0.05	0.02
异亮氨酸 Ile	282.29	345.68	322.41	286.01	41.80	0.20	0.99	0.10
色氨酸 Trp	38.90	39.70	32.40	42.10	6.69	0.30	0.23	0.22
丙氨酸 Ala	352.92	386.45	313.35	325.82	76.43	0.58	0.58	0.42
天冬酰胺 Asn	33.27	39.24	39.48	32.79	20.88	0.94	0.99	0.09
天冬氨酸 Asp	54.71	83.18	91.01	76.47	26.06	0.32	0.02	0.47
半胱氨酸 Cys	-10.81	-8.03	-6.19	-5.50	6.18	0.64	0.07	0.46
谷氨酰胺 Gln	236.58	255.29	264.29	242.08	82.40	0.96	0.81	0.70
谷氨酸 Glu	123.96	120.07	102.96	167.39	49.83	0.38	0.09	0.18
甘氨酸 Gly	213.5	240.2	94.8	541.8	310.32	0.31	0.57	0.60
脯氨酸 Pro	176.50	203.20	183.94	192.78	48.61	0.88	0.44	0.90
丝氨酸 Ser	-111.45^{ab}	-161.17^{ab}	-218.33^{b}	-47.06^{a}	75.08	0.08	0.83	0.03
酪氨酸 Tyr	83.71	95.12	77.19	87.93	20.52	0.67	0.73	0.68
总必需氨基酸 TEAA	2 069.5	2 435.7	2 147.3	2 010.5	263.59	0.20	0.88	0.06
总非必需氨基酸 TNEAA	1 152.9	1 253.6	943.2	1 614.5	562.93	0.46	0.50	0.77
总氨基酸 TAA	3 222.4	3 689.3	3 190.5	3 625.0	735.39	0.69	0.61	0.34

2.7　乳腺氨基酸吸收产出比

由表 10 可见，单一氨基酸缺失灌注对缺失氨基酸的乳腺吸收产出比无显著影响（P>0.05）。与 C 组相比，-Thr 组 His 的乳腺吸收产出比显著下降（P≤0.05），Arg、Met、Leu、Phe、Ile 和 Asp 的乳腺吸收产出比显著升高（P≤0.05），总 EAA 的乳腺吸收产出比由

1.10 上升到 1.48（P≤0.05）。

表 10　缺失 Arg、Thr 和 His 的混合氨基酸灌注对泌乳山羊乳腺氨基酸吸收产出比的影响

Table 10　Effects of infusion of mixed AA excluding Arg, Thr and His on absorbed amount to yield of AA of mammary glands of lactating goats

氨基酸 Amino acids	组别 Groups				R-MSE	*P* 值 *P*-value		
	C	-Arg	-Thr	-His		分组 Grouping	时期 Period	动物 Animal
精氨酸 Arg	2.91^{b}	2.77^{b}	4.38^{a}	3.20^{b}	0.61	0.03	0.27	<0.01
苏氨酸 Thr	1.07	1.26	1.25	0.98	0.24	0.34	0.74	0.04
组氨酸 His	0.62^{a}	0.55^{a}	0.28^{b}	0.55^{a}	0.15	0.06	0.06	0.28
赖氨酸 Lys	1.11	1.18	1.28	1.08	0.34	0.85	0.51	0.76
蛋氨酸 Met	0.82^{b}	0.96^{b}	1.39^{a}	0.98^{b}	0.16	<0.01	0.01	<0.01
亮氨酸 Leu	0.93^{b}	1.16^{ab}	1.38^{a}	0.95^{b}	0.22	0.08	0.86	0.20
缬氨酸 Val	0.99	1.28	1.40	0.97	0.36	0.33	0.97	0.68
苯丙氨酸 Phe	0.99^{b}	1.10^{b}	1.32^{a}	0.98^{b}	0.12	0.03	<0.01	<0.01
异亮氨酸 Ile	1.06^{b}	1.29^{ab}	1.53^{a}	1.10^{b}	0.21	0.07	0.66	0.15
丙氨酸 Ala	1.89	1.90	1.91	1.78	0.47	0.98	0.30	0.27
天冬氨酸 Asp	0.19^{b}	0.26^{ab}	0.35^{a}	0.27^{ab}	0.09	0.17	0.02	0.62
半胱氨酸 Cys	-0.69	-0.84	-0.70	-0.65	0.42	0.91	0.10	0.86
谷氨酰胺 Gln	714.5	284.3	571.3	519.9	440.32	0.61	0.14	0.75
谷氨酸 Glu	0.17	0.17	0.17	0.24	0.07	0.42	0.04	0.15
甘氨酸 Gly	1.51	1.51	0.65	3.86	2.17	0.28	0.49	0.52
脯氨酸 Pro	0.34	0.37	0.42	0.36	0.10	0.73	0.25	0.50
丝氨酸 Ser	-0.46^{ab}	-0.76^{ab}	-1.13^{b}	-0.26^{a}	0.53	0.12	0.55	0.09
酪氨酸 Tyr	1.04	0.94	0.96	0.97	0.21	0.92	0.17	0.09
总必需氨基酸 TEAA	1.10^{b}	1.26^{ab}	1.48^{a}	1.11^{b}	0.19	0.08	0.36	0.10
总非必需氨基酸 TNEAA	0.54	0.54	0.49	0.74	0.26	0.55	0.33	0.84
总氨基酸 TAA	0.79	0.86	0.93	0.91	0.20	0.78	0.28	0.43

2.8　乳腺氨基酸泌乳转化效率

由表 11 可见，与 C 组相比，-Arg 组 Arg 的泌乳转化效率显著增高（P<0.05），由 4.02 上升到 5.04;-Thr 组 Thr 的泌乳转化效率显著升高（P≤0.05），由 9.09 上升到 12.23；-His 组 His 的泌乳转化效率有上升的趋势（0.05<P≤0.10）。

表 11　缺失 Arg、Thr 和 His 的混合氨基酸灌注对泌乳山羊乳腺氨基酸泌乳转化效率影响

Table 11　Effects of infusion of mixed AA excluding Arg, Thr and His on AA conversion efficiency of lactation of mammary glands of lactating goats

氨基酸	组别 Groups	R-MSE	*P* 值 *P*-value

Amino acids	C	-Arg	-Thr	-His		分组 Grouping	时期 Period	动物 Animal
精氨酸 Arg	4.02^{b}	5.04^{a}	3.025^{c}	3.77^{bc}	0.31	<0.01	0.04	0.05
苏氨酸 Thr	9.09^{b}	9.21^{b}	12.23^{a}	8.84^{b}	1.57	0.07	0.65	0.23
组氨酸 His	10.51^{ab}	10.08^{ab}	8.31^{b}	12.04^{a}	1.60	0.08	0.12	0.52
赖氨酸 Lys	10.53	10.71	8.74	10.18	1.38	0.27	0.22	0.47
蛋氨酸 Met	12.89	12.72	10.52	11.80	1.66	0.26	0.52	0.13
亮氨酸 Leu	8.95^{ab}	9.13^{a}	7.36^{b}	8.76^{ab}	0.94	0.12	0.22	0.21
缬氨酸 Val	8.10	8.12	6.81	7.96	0.96	0.26	0.42	0.06
苯丙氨酸 Phe	9.72^{ab}	10.03^{a}	8.12^{b}	9.64^{ab}	0.96	0.11	0.20	0.12
异亮氨酸 Ile	9.83	9.82	8.07	9.71	1.07	0.15	0.50	0.22

3 讨　论

3.1　乳腺血流量

Bequette 等[7-8]做的 2 项静脉灌注氨基酸缺失 Leu 和真胃灌注氨基酸缺失 His 的试验中，血流量分别提高了 17%和 36%。另有其他研究证明，当灌注氨基酸缺失或者不平衡时，乳腺血流量均显著升高或有升高的趋势[9]。本试验真胃灌注混合氨基酸单一缺失 Arg 或 Thr，乳腺血流量均有显著的升高，分别升高了 22.2%和 20.6%，与以往报道结果相一致。但是，影响乳腺血流量的或许不是缺失氨基酸的直接作用。Bequette 等[8]曾经提出，这种乳腺血流量的上升可能与供给乳腺的 His 浓度降低有关，因为 His 在乳腺中脱羧反应可以产生组胺，组胺具有收缩血管的作用，当乳腺阴外动脉中的 His 浓度降低时，乳腺组织合成的组胺减少，对血管的收缩作用便减弱，从而引起乳腺血流量的升高。而本试验中，缺失 Thr 虽使动脉中的 His 浓度显著升高，乳腺血流量仍有显著上升，证明 His 在乳腺血流量中的作用并不是决定性的。Weekes 等[9]报道乳腺血流量的增加通常伴随着 NO 浓度的升高，NO 作为血管舒张因子具有增加乳腺血流量的作用，本试验的血浆 NO 浓度变化也未与乳腺血流量有明显对应关系，特别是缺失 Arg 时，血浆 NO 浓度降低了 38.3%，乳腺血流量反而增加了 22.2%。因此，若是排出 NO 产生部位与采血部位的差异，排出试验方法造成的误差，本试验的结果也证明 NO 也并非乳腺血流量的决定性因素。至于当乳腺组织内的营养物质供给发生改变时，乳腺血流量的调控机理还有待进一步研究。

3.2　动静脉氨基酸浓度

目前有很多研究已经证明，无论是静脉灌注还是真胃和十二指肠灌注，单一的氨基酸灌

注，往往造成该氨基酸的动脉浓度升高，相反地，单一氨基酸的缺失灌注试验，可以造成该氨基酸的动脉浓度降低。Bequette 等[8]通过对泌乳山羊的真胃灌注全混合氨基酸溶液发现，全混合氨基酸溶液中缺失 His，可以使 His 的动脉浓度从 73 μmol/L 下降到 8 μmol/L，而其余大部分氨基酸动脉浓度并没有显著变化。Cant 等[10]的 1 项泌乳奶牛的灌注试验中，向髂动脉灌注的缺失 His 的混合氨基酸溶液，在灌注速度达到 30 g/d 时，His 的动脉浓度显著降低，由 42 μmol/L 降到 13 μmol/L，这与本试验的研究结果基本一致。Arg 或 Thr 的缺失，使其动脉浓度均显著下降，只有 His 的动脉浓度没有显著影响。研究其原因，Bequette 等[8]在做缺失 His 灌注试验时，全混合氨基酸组的 His 的灌注量为 4.4 g/d,His 的灌注量增加了 250%。而 Korhonen 等[11]的灌注试验，在 0 到 2 g/d 的梯度灌注下，His 浓度也变化不显著。本试验全混合氨基酸溶液中氨基酸组成参照山羊瘤胃微生物蛋白中氨基酸的组成[6]，灌注 His 量为 0.6~1.06 g，加上试验饲粮中过瘤胃 His 的影响，因此没有引起 His 动脉浓度的显著变化。

Bequette 等[8]研究总结表明，乳腺静脉中氨基酸的浓度与其在动脉的浓度相关性很强，即静脉氨基酸浓度会随动脉浓度的变化而变化。本试验也验证了这一点，Thr 的静脉浓度随动脉浓度的降低而显著降低，缺失 Arg，静脉血中游离 Arg 的浓度也有下降的趋势。

3.3 乳腺氨基酸代谢

乳腺对乳动脉中氨基酸清除率可以反映乳腺组织对氨基酸的吸收利用情况。乳腺氨基酸清除率综合了乳腺氨基酸动静脉差和乳腺血流量上的变化，比乳腺氨基酸吸收率更能说明乳腺对氨基酸的吸收利用情况。Bequette 等[7]报道的静脉灌注氨基酸缺失 Leu 试验中，Leu 缺失使动脉浓度由 94 μmol/L 下降到 72.6 μmol/L，静脉浓度由 54.4 μmol/L 降到 35.9 μmol/L，Leu 的乳腺吸收率由 52%上升到到 71%。Bequette 等[8]报道的真胃灌注混合氨基酸缺失 His 的试验中，His 的动脉浓度显著下降，由 73 μmol/L 下降到 8 μmol/L，其乳腺清除率显著提高了 43 倍，而其他氨基酸乳腺清除率降低至 1/3~1/2。因此，氨基酸的供给缺失或不平衡时，乳腺可以通过对氨基酸吸收能力的改变，提高氨基酸的清除率，实现对氨基酸供应变化的自身调节。本试验中，真胃灌注缺失 Arg 的混合氨基酸，Arg 的乳腺清除率没有显著变化，但在数值上由 178.34 上升至 224.56，提高了 25.9%。真胃灌注缺失 Thr 的混合氨基酸，Thr 的乳腺清除率显著上升，由 232.4 上升到 695.4，提高了 199%。因此，当氨基酸缺

失导致单一氨基酸动脉浓度降低时，乳腺提高对缺失氨基酸的吸收转运能力。

乳腺对氨基酸的吸收量，就是乳腺通过自身的调节能力，提高了氨基酸的转运吸收能力的最直观的结果。目前的观点是，乳腺对 EAA 的吸收量，一定程度上不受氨基酸缺失的影响，可以通过自身的调节维持稳定。Bequette 等[7]报道的静脉灌注氨基酸缺失 Leu 试验中，Leu 缺失使动脉浓度由 94 μmol/L 显著下降到 72.6 μmol/L，但是乳腺对 Leu 的氨基酸的净吸收量却没有显著变化。Bequette 等[8]在 1 项真胃灌注混合氨基酸缺失 His 的试验中，His 的动脉浓度显著下降，由 73 μmol/L 下降至 8 μmol/L，乳腺对 His 的净吸收量仍然没有显著变化，只在原有基础上有少许下降。本试验所做的氨基酸灌注单一缺失试验，乳腺对该氨基酸的吸收量均没有随动脉中其浓度的下降而显著变化，在一定程度上维持稳定，印证了乳腺对氨基酸的吸收与血浆氨基酸浓度无关的论点。乳腺对氨基酸的吸收转运具有高效性，但吸收和转运不是限制乳蛋白合成的关键性步骤[12]。

综上所述，当供给乳腺的某种氨基酸缺失时，乳腺可以通过提高血流量，提高对该氨基酸自身的清除率，显著地提高对该氨基酸的吸收能力，以消除或至少是缓解由于某种氨基酸缺失而造成的用以乳腺合成乳蛋白的营养底物的缺失状态。这也与 Bequette 等[8]和 Mackle 等[13]提出的，乳腺能够根据自身需要来调节血流量和氨基酸的转运能力，用以满足泌乳的需要的观点相一致。

本试验中，灌注缺失 Thr 的混合氨基酸，His 的乳腺吸收产出比显著下降，Arg、Met、Leu、Phe、Ile 和 Asp 的乳腺吸收产出比显著升高，总 EAA 的乳腺吸收产出比由灌注全混合氨基酸的 1.10 上升到 1.48。考虑到之前所述，Thr 的缺失使 His 的动脉浓度显著上升，His 的乳腺吸收率显著降低，His 的吸收量显著下降，应该是 Thr 的缺失，严重阻碍了乳腺上皮细胞对 His 的吸收，致使 His 的吸收量显著下降，致使 His 成为合成乳蛋白的限制性因素，乳蛋白合成的产量降低，用于乳蛋白合成的 EAA 也降低，而乳腺吸收的多余的 EAA，则被氧化代谢或参与其他非泌乳性功能，致使其他 EAA 的乳腺吸收产出比上升。Thr 缺失，影响乳腺对 His 吸收的机制仍不明确。

另外，本试验测得乳腺内 EAA 的乳腺吸收产出比变化差异很大。Arg 的乳腺吸收产出比最高（2.77~4.38），His 的乳腺吸收产出比均小于 1。Raggio 等[14]发现，在高供给量下，His 的乳腺吸收量等于净内脏流量，低供应量下则低于净内脏流量，供给量可能无法满足泌

乳需要。这就表明，在低供应量下，需要来自含 His 肽或蛋白质的内源补充。本试验 His 的乳腺对游离组氨酸的吸收量远低于乳腺分泌到乳中的 His 总量，便有可能与 His 肽或蛋白质的内源补充的有关。

3.4　泌乳性能

目前，在灌注混合氨基酸单一缺失氨基酸，对产奶量、乳蛋白率和乳蛋白产量的影响结果并不一致。Doepel 等[15]真胃灌注混合氨基酸缺失 Arg，Arg 的吸收量显著下降，但在产奶量、乳蛋白率和乳蛋白产量上均无显著差异。Bequette 等[7]用颈静脉灌注缺失 Leu 的混合氨基酸发现，动脉血中 Leu 的浓度显著下降，却未影响 Leu 的动静脉浓度差和 Leu 的乳腺吸收量，对产奶量和乳蛋白产量也均无影响。但是 Bequette 等[8]真胃灌注缺失 His 的研究中，缺失 His，流入乳腺的 His 量和流出乳腺的 His 量均显著降低，但是流出乳腺的减少量了不足以抵消流入乳腺的减少量，最终使乳蛋白率显著降低，产奶量也有降低的趋势。乳蛋白的产量由 118 g/d 将至 97 g/d。不同是试验结果很有可能与饲粮的干扰有关，存在基础饲粮提供的氨基酸已经满足需要的可能，所以不能达到氨基酸缺失的目的。本试验的灌注混合氨基酸单一缺失氨基酸对产奶量，乳蛋白率和乳蛋白产量的影响均不显著，排除饲粮影响，试验结果印证了乳腺强大的自身调节能力。但应注意的是，缺失 Thr 的下降，虽未影响乳腺对 Thr 的吸收量，但是 His 的吸收量显著下降，成为乳腺乳蛋白合成过程中的限制因素，限制了乳蛋白合成与分泌，所以乳蛋白的产量在数值上有所降低。

氨基酸不平衡常导致乳脂率升高，脂蛋白比升高[9,10,16]。氨基酸缺失和不平衡导致脂蛋白比增加的原因可能有 2 个：首先，氨基酸缺失时，乳腺血流量大幅增加，导致单位时间到达乳腺的乳脂合成底物增加，乳脂合成增加；其次，当某些氨基酸缺失时乳腺内乳蛋白合成减少，相对多余的其他氨基酸在乳腺内转化为乳脂合成底物，促进乳脂的合成。本试验中，缺失 Arg 的混合氨基酸灌注，乳脂率和乳脂产量显著上升，脂蛋白比显著上升（0.89 vs. 1.01）；缺失 Thr 和 His 的混合氨基酸灌注，脂蛋白比虽变化不显著，但有升高趋势。所以脂蛋白比可以从一定程度上反映动物吸收氨基酸的平衡情况。

3.5　泌乳转化效率

根据康奈尔模型推测，真胃灌注混合氨基酸单一缺失 Arg、Thr 和 His，分别使小肠可消化氨基酸流量下降 18.4%（57.8 mmol/d vs. 47.2 mmol/d）、41.7%（53.2 mmol/d vs. 31.0

mmol/d）和 19.6%（23.1 mmol/d vs. 18.7 mmol/d）；乳动脉氨基酸流量分别下降 3.4%（13.9 mmol/d vs. 13.4 mmol/d）、34.8%（10.1 mmol/d vs. 6.6 mmol/d）和 14.7%（5.2 mmol/d vs. 4.4 mmol/d）；泌乳转化效率分别提高 25.4%（4.02 vs. 5.04）、34.5%（9.09 vs. 12.23）和 14.6%（10.51 vs. 12.04）。试验结果显示，内脏组织对 Arg、Thr 和 His 缺失均有缓冲作用，可能的原因是氨基酸缺失，使肝脏（对 His）或胰腺（对 Thr）等内脏组织的氨基酸分解代谢作用减弱造成的。其中 Arg 的缓冲作用最为明显，很有可能与肾脏的 Arg 从头合成有关。氨基酸缺失均可以提高氨基酸的泌乳转化效率，表明了氨基酸在泌乳转化效率方面潜力很大，Arg 的潜力可能更大一些，可能的原因有 2 个：首先，Arg 体内合成可以补充灌注造成的缺失；其次，Arg 的乳腺吸收产出比较高，吸收量远大于乳中的产出量，乳腺可以通过降低乳腺内的 Arg 氧化代谢水平，提高 Arg 的泌乳转化效率。

4　结　论

①真胃灌注混合氨基酸单一缺失 Arg、Thr 和 His，对产奶量、乳蛋白率没有显著影响，对乳腺该氨基酸吸收量无显著影响，表明乳腺在氨基酸吸收转运方面具有自我调节能力。

②真胃灌注混合氨基酸单一缺失 Arg、Thr 和 His，可以提高该氨基酸的泌乳转化效率。

③真胃灌注混合氨基酸单一缺失 Thr，显著升高了 Thr 的乳腺清除率，而缺失 Arg 和 His 对该氨基酸的乳腺清除率无显著影响。

参考文献：

[1]　BERTHIAUME R,THIVIERGE M C,PATTON R A,et al.Effect of ruminally protected methionine on splanchnic metabolism of amino acids in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2006,89(5):1621–1634.

[2]　BEQUETTE B J,HANIGAN M D,LAPIERRE H.Mammary uptake and metabolism of amino acids by lactating ruminants[M]//D’MELLO J P F.Amino acids in animal nutrition.Cambridge:CABI Publishing,2003:347–365.

[3]　CANT J P,BERTHIAUME R,LAPIERRE H,et al.Responses of the bovine mammary glands to absorptive supply of single amino acids[J].Canadian Journal of Animal Science,2003,83(3):341–355.

[4]　MABJEESH S J,KYLE C E,MACRAE J C,et al.Lysine metabolism by the mammary gland

of goats at two stages of lactation[J].Journal of Dairy Science,2000,83(5):996–1003.

[5] AFRC.Agricultural and food research council[S].Wallingford:CAB International,1993.

[6] 甄玉国.内蒙古白绒山羊氨基酸利用和蛋白质周转规律的研究[D].博士学位论文.呼和浩特：内蒙古农业大学,2002.

[7] BEQUETTE B J,BACKWELL F R C,MACRAE J C,et al.Effect of intravenous amino acid infusion on leucine oxidation across the mammary gland of the lactating goat[J].Journal of Dairy Science,1996,79(12):2217–2224.

[8] BEQUETTE B J,HANIGAN M D,CALDER A G,et al.Amino acid exchange by the mammary gland of lactating goats when histidine limits milk production[J].Journal of Dairy Science,2000,83(4):765–775.

[9] WEEKES T L,LUIMES P H,CANT J P.Responses to amino acid imbalances and deficiencies in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2006,89(6):2177–2187.

[10] CANT J P,TROUT D R,QIAO F,et al.Milk composition responses to unilateral arterial infusion of complete and histidine-lacking amino acid mixtures to the mammary glands of cows[J].Journal of Dairy Science,2001,84(5):1192–1200.

[11] KORHONEN M,VANHATALO A,VARVIKKO T,et al.Responses to graded postruminal doses of histidine in dairy cows fed grass silage diets[J].Journal of Dairy Science,2000,83(11):2596–2608.

[12] HUHTANEN P,VANHATALO A,VARVIKKO T.Effects of abomasal infusions of histidine,glucose,and leucine on milk production and plasma metabolites of dairy cows fed grass silage diets[J].Journal of Dairy Science,2002,85(1):204–216.

[13] MACKLE T R,DWYER D A,INGVARTSEN K L,et al.Evaluation of whole blood and plasma in the interorgan supply of free amino acids for the mammary gland of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2000,83(6):1300–1309.

[14] RAGGIO G,PACHECO D,BERTHIAUME R,et al.Effect of level of metabolizable protein on splanchnic flux of amino acids in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2004,87(10):3461–3472.

[15] DOEPEL L,LAPIERRE H.Deletion of arginine from an abomasal infusion of amino acids does not decrease milk protein yield in Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,2011,94(2):864–873.

[16] VARVIKKO T,VANHATALO A,JALAVA T,et al.Lactation and metabolic responses to graded abomasal doses of methionine and lysine in dairy cows fed grass silage diets[J].Journal of Dairy Science,1999,82(12):2659–2673.

Effects of Abomasul Infusion of Amino Acid Mixture without Arginine, Threonine and Histidine on Mammary Amino Acid Metabolism of Lactating Goats

HU Zhiyong SUN Defeng LI Jiwei YAN Zhengui LIN Xueyan* WANG Zhonghua*

（*College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China*）

Abstract: The purpose of this study was to determine the effects of abomasul infusion of amino acid (AA) mixture without arginine (Arg), threonine (Thr) and histidine (His) on mammary AA metabolism of lactating goats. Four Saanen dairy goats at med-lactation period were selected and installed with abomasul (for AA infusion), jugular arterial and breast intravenous fistula cannulas (for blood sample collection), as well as probes of blood flowmeter at external pudendal artery (for mammary blood flow recording). Goats for trial were restricted fed a basal diet to meet energy and protein needs for maintenance. Abomasa were infused with glucose and AA mixed solution, which had same AA composition with ruminal microbial protein. A 4×4 Latin square design was used, control group was infused total AA mixture, and trial groups were infused AA mixture without one of Arg, Thr or His, respectively; the trial consisted of 4 stages with 7 d per stage, in each of which the first 4 d were infusion period, and the last 3 d were sampling period. The results showed as follows: 1) infusion of AA mixture without single AA had no significant effects on milk yield and milk protein yield（P>0.05）. 2) Infusion of AA mixture without Arg or Thr significantly

---

*Corresponding authors: LIN Xueyan, professor, E-mail: linxueyan@sdau.edu.cn; WANG Zhonghua, professor, E-mail: Zhwang@sdau.edu.cn （责任编辑　王智航）

increased mammary blood flow （$P\leq0.05$）, but reduced the concentrations of the missing AA in artery and vein, and the AA clear rates of mammary glands were increased by 25.9% and 199%; infusion of AA mixture without single AA had no significant effects on absorbed amount to yield of AA of mammary glands （$P>0.05$）. 3) Infusion AA mixture without Arg, Thr or His increased AA conversion efficiency of lactation of mammary glands by 25.4% （4.02 vs. 5.04，$P\leq0.05$）, 34.5% （9.09 vs. 12.23，$P\leq0.05$） and 14.6% （10.51 vs. 12.04，$0.05<P\leqslant0.10$）, respectively. The results indicate that dairy goats increase the supplementation of mammary gland lacking AA from diet through increasing mammary blood flow and mammary clear rate, and improve conversion efficiency of lactation of the lacking AA.

Key words: amino acid; mammary blood flow； lactating performance； conversion efficiency of lactation